

さつまいもの加熱調理におけるレジスタントスター チ量と食物繊維量との関係

著者	亀井 文, 渡邊 明恵
雑誌名	宮城教育大学紀要
巻	51
ページ	103-108
発行年	2017-01-31
URL	http://id.nii.ac.jp/1138/00000508/

さつまいもの加熱調理におけるレジスタントスターチ量と食物繊維量との関係

* 亀井 文 ・ * 渡邊 明恵

Effects of cooking methods on resistant starch and insoluble dietary fiber contents of sweet potato

KAMEI Aya and WATANABE Akie

Abstract

Objectives: Resistant starch (RS) escapes digestion until reaching colon and acts like dietary fiber. Recently, many studies suggest that RS, in addition to dietary fiber, may be beneficial for our health. Sweet potato (*Ipomoea batatas*) is very common carbohydrate source in Japanese diet. Japanese cook and eat sweet potato by boiling, steaming, baking or other cooking methods. RS content might vary when sweet potato will be cooked by different methods. Therefore, the purpose of this study was to investigate effects of cooking methods on RS and insoluble dietary fiber (IDF) contents of sweet potato.

Materials & Methods: Potatoes were cooked by three different methods (boiling, steaming or microwaving) until they reached the same degree of tenderness. The temperature of sweet potatoes was also monitored during cooking. Immediately after cooking, these samples were dehydrated and measured moisture, RS and IDF content.

Results & Findings: The content of RS in raw sweet potato was 12.0%. The content of RS of boiling, steaming, and microwaving were 8.8%, 10.2% and 5.2%, respectively. The content of IDF in raw sweet potato was 5.0%, and that of boiling, steaming, and microwaving were 7.3%, 6.0% and 6.2%, respectively. RS content of steaming sweet potatoes was the highest among three different cooking methods. This result might be related with cooking temperature, cooking time or moisture content of sweet potatoes. The contents of IDF among raw and three cooking methods were a little different. The content of IDF by boiling was higher than that of raw sweet potatoes. It might be included partial RS and measured as IDF.

Key words : Sweet potato (さつまいも)

Resistant starch (RS) (レジスタントスターチ)

Insoluble Dietary Fiber (IDF) (不溶性食物繊維)

Cooking methods (調理法)

I. 緒言

レジスタントスターチ (RS) は体内で消化吸収を免れるでんぷんとして、その体内での機能性が近年注目されている¹⁾。RS は「健康なヒトの小腸内で消化吸

収されないでんぷんおよびでんぷん分解物」であり、RS1からRS4の4つあるいはRS5を加えて5つに分類されている。RS1は細胞壁によって物理的に消化できないでんぷん、RS2はでんぷん粒子自体に耐消化性があるでんぷん、RS3は調理後に再結晶した老化でんぷ

* 宮城教育大学家庭科教育講座

ん、RS4は化学的修飾を施されたでんぷん、RS5はアミロースと脂肪の複合体でんぷんである¹⁾²⁾。

最近ではRSは食物繊維と同様に、適量を習慣的に摂取することにより健康に寄与することができる機能的成分として注目されている。RSの主な栄養生理機能としては、小腸での消化率が低いことから、糖質や脂質代謝において血糖値抑制作用や血液中コレステロールおよび中性脂肪の低下などが見られる。さらに大腸において、腸内細菌の発酵基質として代謝されて、短鎖脂肪酸、特に酪酸を産生する。そして、この酪酸は腸内細菌叢を変化させ腸内の有用な菌を増殖させたり、癌化株細胞の増殖を抑制する、との報告もある²⁾³⁾⁴⁾。

さつまいも (*Ipomoea batatas*) や里芋などのいも類は私たち日本人にとって身近なでんぷん性食品であり、食物繊維も多く含まれている。日本食品標準成分表2015年版(七訂)⁵⁾では、生さつまいも100g中の炭水化物量は31.5g、総食物繊維(Total Dietary Fiber 以下 TDF)量は2.3g、水溶性食物繊維(Soluble Dietary Fiber 以下 SDF)0.5g、不溶性食物繊維(Insoluble Dietary Fiber 以下 IDF)1.8gとなっている。さらに調理を行った蒸しさつまいも100g中の炭水化物量は31.2g、TDF量は3.8g、SDF1.0g、IDF2.8gと調理によって食物繊維量が増加している。

大場ら⁶⁾は食物繊維を多く含むさつまいもを試料とし、加熱調理によるSDF、IDFの量の変化を調べた。生と蒸し加熱・電子レンジ加熱とを比較したところ、SDF量は加熱によって変化しないが、IDF量は増加傾向にあるという結果であった。また加熱時間の長い蒸し加熱で多くなる傾向が見られた。このことから、IDF量の変化には加熱が影響を与え、特に加熱時間の長い調理方法の方がIDF量を増加させる可能性がある、と述べている。また津久井ら⁷⁾はさつまいも、じゃがいも、里芋、ヤマノイモの4種類6品種のいも類を蒸す、ゆでる、焼く、電子レンジ加熱及び油で揚げるなどの操作で加熱調理して、加熱調理前後のTDF量を定量し、その変動について検討した。その結果は蒸す、茹でる操作の場合の各種いも類のTDF量は増加が見られた。この結果について津久井らは、増加したTDF量はRSの生成によるものではないかと考察している。

Yang,Y ら⁸⁾の研究では、市販されている4種類の

じゃがいもの調理法の違い(茹で、焼き、電子レンジ加熱)によるRS量の影響について調べたところ、焼きと電子レンジ加熱調理のじゃがいもは茹でたじゃがいもと比べてRS量が高いという結果であった。また、Raats,S ら⁹⁾による研究は、3種類のよく食されているじゃがいもの調理法と保存方法の違いがどのようにRS量に影響するのかを検討している。2つの調理法 - 焼くと茹でる - で調理したじゃがいもを調理後65℃に保つ、4℃で6日間保存する、4℃で6日間保存した後、65℃に再加熱する、の3つの保存方法を比較したところ、焼いたじゃがいもはゆでたじゃがいもより高いRS量であり、調理後65℃に保存したじゃがいもは、4℃で6日間保存、あるいは4℃で6日間保存した後65℃に再加熱したじゃがいもと比べてRS量が低い結果となった。しかし、種類によるRS量に違いは見られなかった。Raats,S らは、水分量が少ない調理法での加熱はRSを生成し、水分量の多い調理法ではでんぷん分解が進むのではないかと考察している。そして、調理後の保存が冷蔵の場合にはでんぷんの老化によってRS量が増加し、再加熱によってもRS量は減少しなかった、と報告している。

これまでのいも類の調理におけるRSの研究についてはじゃがいもが多く、国内においてもさつまいもなどよく食されているいも類の調理法の違いによるRS量変化についてはほとんど研究されていない。そこで本研究においては、でんぷん性食品であるさつまいもを試料として加熱調理方法の違いがRS量にどのように影響を及ぼすのかを調べることを目的とする。さらにIDF量も調べることにより、調理によるIDF量変化がRSの生成と関係しているかどうか調べることにした。

II. 方法

1. 試料

さつまいもは徳島(里浦)県産のなると金時(平成22年11月)を使用した。さつまいもを2cmの厚さに輪切りにした後、クッキー型(Φ約4cm)でくりぬいたものをそれぞれ3個ずつ使用した。部位差を解消するために中央から1つと両端から2つを選んだ。また個体差を考慮して3本のさつまいもから調製した。

2. 調理方法の違いによるさつまいもの試料調製方法

直径約4cm厚さ2cmのさつまいも（皮なし）を用いて、茹でる、蒸す、電子レンジ加熱の3つの方法を用いて調理を行った。各調理法での調理時間は食することが出来るようなやわらかさになるまでとした。茹で調理は、水1.5ℓを入れた鍋（直径約15cm）の中にさつまいもを入れ9分後、沸騰してから15分間加熱した。茹で時間は合計24分間であった。蒸し調理は皿の上にさつまいもを載せ、お湯が沸騰してから蒸し器の中敷きの中央に置き、鍋に濡れ布巾をかけて20分間加熱した。電子レンジは日立過熱水蒸気オープンレンジMRO-BX10を使用し、皿の上にさつまいもを載せ、皿全体にラップをかけた状態で200w・5分間加熱した。茹で調理と蒸し調理中のさつまいも内部温度はサーモロガー（AM-8000）を使用して測定した。電子レンジ加熱においては、レンジ加熱前後の内部温度を測定した。

加熱調理したさつまいもは、すぐに乳鉢ですりつぶし均一化した。生のさつまいもはフォースミルFM-1（ケニス株式会社）を使用して破碎した。

3. 調理方法の違いによるさつまいもの水分量測定

水分量測定は常圧乾燥法を用いて行った。上記のように調製した生のさつまいもとそれぞれの調理方法で加熱したさつまいもは、恒量した秤量瓶の中にそれぞれ約2gを小数点第4位まで正確に秤量し入れた。秤量瓶は乾燥器を用い105℃で1時間加熱した。1時間経過後、乾燥器より乾燥剤の入ったデシケーターに移し、30分後秤量を行い、この作業を恒量（重量差が±0.0003g以下）になるまで繰り返した。

水分量の計算式は以下の通りである。

$$\text{水分\%} = \text{水分重量} / \text{試料重量} \times 100$$

$$= \left[\left(\text{秤量瓶に試料を入れた乾燥前の重量} \right) - \left(\text{乾燥後の重量} \right) \right] / \left[\left(\text{秤量瓶に試料を入れた乾燥前の重量} \right) - \left(\text{秤量瓶の空重量} \right) \right] \times 100$$

4. 調理方法の違いによるさつまいものRS量の測定

(1) 試料の作成

上記のように調製した生のさつまいもとそれぞれの調理方法で加熱したさつまいもは井川¹⁰⁾の方法に準じて脱水操作を行った。調製したさつまいもを約10g乳鉢に入れて、メタノール25mlを加えて乳鉢中で磨砕しながら脱水した。メタノールの上澄を捨て、

再びメタノール25mlを加え磨砕後上澄を捨てる操作をさらに2回繰り返した。その後アセトン25mlを加えてさらに脱水する操作を3回行った試料をRSの測定に用いた。

(2) RS測定

RSの測定はMegazyme社のRS ASSAY KIT（AOAC Method 2002, AACC Method 32-40）により行った。試料100mgに対してアミログルコシターゼを含むα-アミラーゼ溶液を4.0ml加え、16時間、37℃の恒温槽で連続的な振とう（200strokes/min）を行い反応させた。その後、4.0mlの99%エタノールを加え混和後1500×gで10分間遠心分離を行い上清を取り除いた後、さらに、50%エタノール2mlを入れて混和後、さらに50%エタノールを6ml加えて混ぜ、1500×gで再び10分間遠心分離機で分離し上清を取り除く操作を、2回行った。残った沈殿に2MのKOH2ml加え、氷で冷却しながら20分間攪拌した後、1.2M酢酸ナトリウム緩衝液（pH3.8）を8ml加えて混和後、アミログルコシターゼ（3300U/ml）を0.1ml加え50℃30分間反応させた。その後1500×gで10分間遠心分離を行い、上清0.1mlにGOPOD溶液を3.0ml入れ、50℃で20分間反応させた後、510nmにおいて吸光度測定を行ない、グルコース量としてRS量を測定した。

RS量は以下の式に当てはめて求めた。

$$RS \text{ (g / 100 g 試料)} = \Delta E \times F / W \times 9.27$$

$$\Delta E = \text{試料の吸光度} - \text{reagent blank の吸光度の平均}$$

$$F = 100 / \left(\text{D-glucose standard の吸光度の平均} - \text{reagent blank の吸光度の平均} \right)$$

$$W = \text{試料の量 (g)}$$

5. 調理方法の違いによるさつまいものIDF量の測定

さつまいものIDF量の測定は、不溶性食物繊維と水溶性食物繊維を定量することができるブロスキー変法¹¹⁾を測定法としているMegazyme社のTDF測定キットを用いて測定した。2. で調製した試料を40℃で20時間加熱乾燥させ、正確に1.000±0.005gずつ400mlのトルビーカーに測り入れ、0.05MのMES/TRIS緩衝液40mlを入れた後、50μlの耐熱性α-アミラーゼを加え95～100℃のお湯の中に入れ、振盪させながら30分間反応させた。その後、それぞれの試料に100μlのプロテアーゼを加え、60±1℃の恒温槽で30分

間反応させたのち、pHが4.1～4.8になるように5% NaOHを加えて調整し、アミログルコシターゼを加え混ぜた後、60℃の恒温槽で30分間反応させた。ブランクも同様に行った。

セライト0.5gを入れ、130℃で1時間加熱し、デシケーターで30分放冷後、恒量を0.1mgの精度で秤量した。つぼ型ガラス濾過器に蒸留水を注入し、セライトを懸濁させ、それを真空で引いて均一なマット状の濾過面を作った。ガラス濾過器にビーカーの中の酵素反応液を流し込み、吸引濾過をした。70℃の蒸留水10mlで、ビーカーを2回洗った後つぼ型ガラス濾過器に通し、さらにつぼ型ガラス濾過器を95%エタノール10mlで2回、アセトン10mlで2回洗浄した。103℃のオーブンで残渣を含むつぼを一晩乾燥させた。1時間デシケーターで冷却した後、残渣とセライトを含むつぼの重さを0.1mgの精度で秤量した。

灰分の決定は残渣とセライトを含むつぼを525℃で5時間過熱して灰化した。デシケーターで30分放冷し、0.1mgの精度で秤量した。

以下の式でIDF(%)と残渣灰分(%)を求めた。

$$\text{残渣灰分}(\%) = \left[\frac{\text{残渣灰分mg}}{\text{残渣mg}} \right] \times 100$$

$$\text{IDF}(\%) = \frac{\text{残渣mg} - \left[\left(\frac{\text{残渣灰分}\%}{100} \right) \times \text{残渣mg} \right]}{\text{試料mg}} \times 100$$

6. 統計解析

統計処理はSPSS V 12.0J for Windowsを用いて行った。平均値の差の比較は一元配置分散分析で分析を行い、その後の多重比較検定はStudent-Newman-Keuls testを用いた。

III. 結果及び考察

1. 加熱方法の違いによるさつまいもの調理時の温度変化と調理後の水分量

図1は茹でる、蒸す、電子レンジ加熱の3つの方法を用いて調理を行った時のさつまいもの内部温度変化を表したグラフである。茹で調理は、水1.5ℓを入れた鍋の中にさつまいもを入れ、9分後沸騰してから15分間(合計24分)加熱した。蒸し調理は蒸気が出ている状態の蒸し器で20分間加熱した。電子レンジは皿全

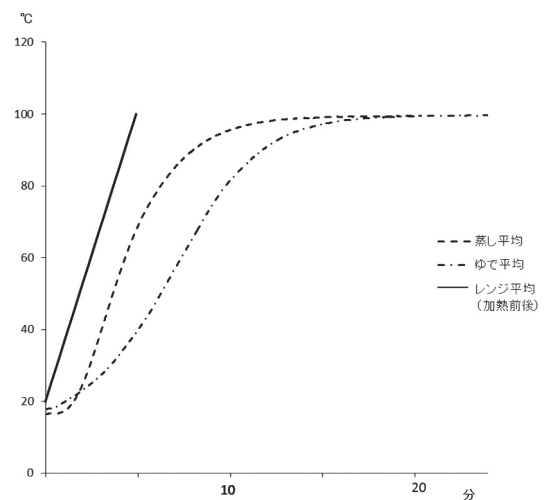


図1 加熱方法の違いによるさつまいもの平均内部温度変化

体にラップをかけた状態で5分間加熱した。調理時間は常温の水に試料を入れて加熱した茹で加熱が一番長く、また温度上昇も一番緩やかな上昇であった。さつまいもの温度が100℃付近に達するまで、茹で加熱は15分以上要しているが、蒸し加熱は12分程度で100℃付近に達していた。電子レンジ加熱においては、さつまいもの内部温度測定ができなかったため、レンジ加熱前後の内部温度を測定して直線で結び温度上昇を推定した。調理時間がわずか5分であり、その直後のさつまいも内部温度は100℃近くに達しており、電子レンジ加熱が短時間で一番急激に内部の温度が上昇していることがわかった。

生のさつまいもと茹でる、蒸す、電子レンジ加熱調理後のさつまいもの水分量を図2に示す。生のさつまいもの水分量は63.1%、茹で加熱後は66.9%、蒸し加熱後は63.6%、電子レンジ加熱後は56.8%であり、生のさつまいもと蒸したさつまいもの水分量はほぼ同じ

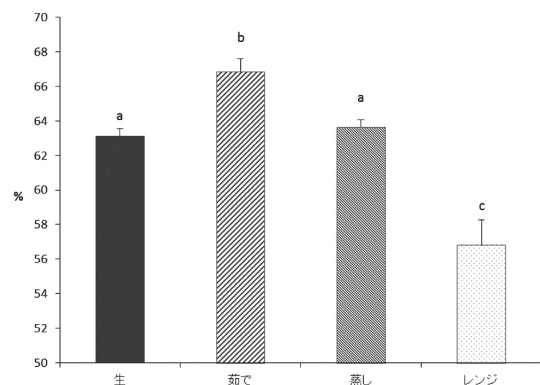


図2 加熱方法の違いによるさつまいもの水分量

であり、茹でたさつまいもの水分量は生のさつまいもより有意に高くなり、電子レンジ加熱後は生のさつまいもより有意に低い水分量となった。

Alvarez, M.D. ら¹²⁾の研究では、じゃがいもの茹で調理において60℃では糊化はとて遅く、70℃においても一部の糊化であったが、80℃では5分あるいは90℃では3分の調理時間で完全に糊化されたことを報告している。Hung, P.V. ら¹³⁾は米でんぷんを用いた酸と熱によるRS生成の実験において、糊化が十分に行われないうちで水分量を米でんぷんの30%として実験を行っていることから、いもでんぷんにおいても糊化に必要な水分量は少なくとも30%よりも多くなければならないだろう。

本研究においては、3つの調理法の調理加熱温度はレンジ調理5分を含めていずれも100℃付近まで上昇し、調理後の水分量は一番少ない水分量のレンジ加熱後においても56.8%であったことから、これら3条件の調理方法による加熱調理において、さつまいもでんぷんの糊化条件は大体満たされていたのではないかと考えられる。

2. 加熱方法の違いによるさつまいものRS量

図3は生のさつまいもと茹でる、蒸す、電子レンジ加熱調理後のさつまいものRS量を表したグラフである。生のさつまいものRS量が一番高く12.0%であった。この生の状態でのRSは、RS2であるでんぷん粒子自体に耐消化性があるでんぷんであると考えられる。茹で加熱と蒸し加熱そしてレンジ加熱後のRS量は8.8%、10.2%そして5.2%であり、調理3条件のRS量は生のRS量と比較して有意に低い値となった。このことにより、さつまいもでんぷんは生の状態では消化されにくいでんぷんも調理方法によって違いはあるが、ある程度消化性でんぷんに変化することがわかった。調理3条件の間においては蒸し加熱のRS量が一番高く、レンジ加熱のRS量は一番低い結果となった。茹で加熱と蒸し加熱を比較すると、茹で加熱のRS量は蒸し加熱のRS量より低い結果となった。茹で加熱は蒸し加熱と比べて、水分量が多く調理時間も長く、温度も緩やかに上昇することによって内在のでんぷん消化酵素が長く活性が持続し、糊化が進んで消化されやすい状態に変化したと考えられる。従って、生のRS2が調理により消化性でんぷんに変化する際、茹

で加熱の方が蒸し加熱と比べて、より多く消化性でんぷんに変化したと考えられる。一方、レンジ加熱後のRS量は一番低い値となった。レンジ加熱はマイクロ波を照射して食品内部で電波エネルギーを変換して加熱する方法である。食品自体が発熱するため温度上昇が早く、調理時間は他の2方法と比べて非常に短く、またさつまいもの水分も蒸発して3つの調理方法の中で一番低い値だったが、レンジ加熱は耐消化性でんぷんを消化性でんぷんに変化する量が一番多くなっているのではないかと考えられた。マイクロ波照射によって、さつまいも内部からの急激な温度上昇がでんぷんを消化しにくいものから消化しやすいものへと、素早く変化させていることが考えられた。

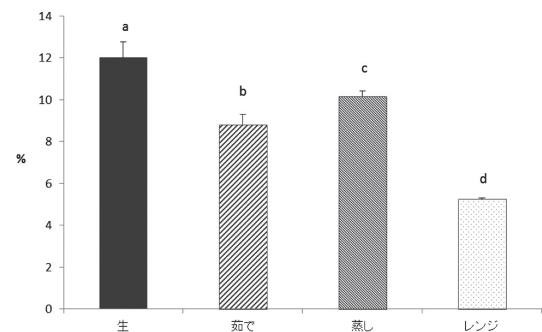


図3 加熱方法の違いによるさつまいものRS量

3. 加熱方法の違いによるさつまいものIDF量

生のさつまいもと茹でる、蒸す、電子レンジ加熱調理後のさつまいものIDF量を表したグラフが図4である。生のIDF量は5.0%、茹で加熱、蒸し加熱およびレンジ加熱のIDF量は7.3%、6.0%と6.2%であった。生を含めた各条件のIDF量は、茹で加熱調理が生と

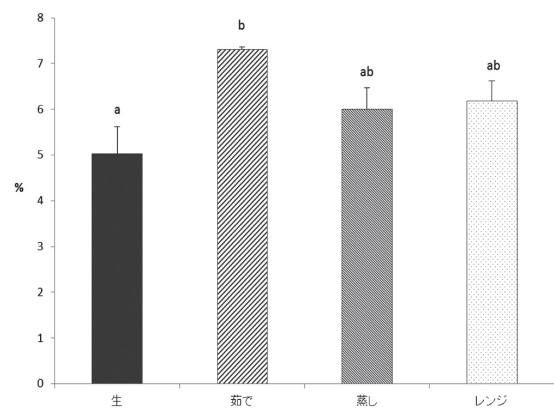


図4 加熱方法の違いによるさつまいものIDF量

比べて有意に高い値となったが、他の2条件の加熱による IDF 量は高い傾向ではあるが、有意な差はなかった。IDF はセルロースやヘミセルロース等から形成されている細胞壁の構造物質が多い。七訂日本食品標準成分表⁵⁾による生と蒸し加熱の IDF 量は1.6%と1.7%と本実験結果より低い値となっている。日本食品標準成分表の食物繊維測定方法はプロスキー変法を用いており、本測定方法と同様の方法であるが、さつまいもの品種や個体間による差が大きいかもしれない。また、生のさつまいもは RS 量においては一番高い値を示したが、IDF 量においては一番低い値となった。本実験の RS 量測定は老化の影響を出来るだけ避けるため、調理後すぐに脱水処理操作をおこなった。しかし、IDF 量測定では試料を40℃で20時間加熱乾燥する操作が入っていることから、加熱調理を行った IDF 量の中には老化による RS3が含まれている可能性もある。そのことにより、生の IDF 量と比べて調理をおこなった各 IDF 量は高い値となったのではないかと考える。一方、各加熱調理における IDF 量には有意な差が見られなかったことから、いずれの加熱調理においても IDF 量は変化せず、その量の中には老化過程で生成された RS3が含まれていると考えられた。

IV. まとめ

本研究においては、でんぷん性食品であるさつまいもを試料として加熱調理方法の違いが RS 量にどのように影響を及ぼすのかを調べ、さらに IDF 量も調べることにより、調理による IDF 量変化が RS の生成と関係しているかどうか調べることを目的として実験を行った。その結果、加熱方法の違いによるさつまいもの RS 量においては、生のさつまいもの RS 量が一番高く、次に蒸し加熱、茹で加熱、そしてレンジ加熱後の RS 量の順に有意に低い値となった。生の状態ではでんぷん粒子自体に耐消化性があるでんぷんが、調理によって糊化が進んで消化されやすい状態にでんぷんが変化したと考えられた。さらに調理法の違いにより、でんぷん粒子の消化性の度合いは異なったものとなった。IDF 量は、生を含めた各条件を比較すると、茹で加熱調理が生と比べて有意に高い値となったが、各条件間に大きな差は見られなかった。

今後は、さつまいもの調理後の老化による RS 量の変化、さらに再加熱後の RS 量の変化を調べていく予定である。

V. 参考文献

- 1) Englyst H. N., Kingman S. M. and Cummings J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 1992, 46, S33-S50.
- 2) Birt, F. D., Boylston T., Hendrich S. et al. Resistant starch: Promise for improving human health. *Adv. Nutr.* 2013, 4, 587-601.
- 3) 森田達也レジスタントスターチの栄養生理機能に関する基盤解析. 日本食物繊維学会誌, 2010, 14, 91-103.
- 4) Asp, N-G. "Resistant starch- An update on its physiological effects." *Dietary Fiber in Health and Disease*. Kritchevsky and Bonfield eds, Plenum Press. 1997, 201-210.
- 5) 文部科学省日本食品標準成分表2015年版(七訂)
http://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/1365297.htm
- 6) 大場君枝, 山の中なつみ, 小川宣子. 加熱調理による食物繊維の性状変化. 岐阜女子大学紀要, 2006, 35, 111-116.
- 7) 津久井亜紀夫, 鈴木敦子, 小口悦子, 永山スミ. いも類の食物繊維量の加熱調理による変化. 日本家政学学会誌, 1994, 45 (11), 1029-1034.
- 8) Yang, Y., Acharandio, I. & Pujola, M. "Effect of the intensity of cooking methods on the nutritional and physical properties of potato tubers." *Food Chem.* 2016, 197, 1301-1310.
- 9) Raatz, S.K., Idso, L., et al. "Resistant starch analysis of commonly consumed potatoes: Content varies by cooking method and service temperature but not by variety." *Food Chem.* 2016, 208, 297-300.
- 10) 井川佳子, 菊池智恵美, 兼平咲江, 村川由紀子, 井尻哲. 米飯における初期老化の評価方法. 応用糖質科学, 2002, 49, 29-33.
- 11) 金谷建一郎. "食物繊維の定量法" 食物繊維基礎と応用. 日本食物繊維学会編集委員会編. 第一出版, 2008, 92-97.
- 12) Hung, P.V., Vien, N.L. and Lan-Phi, N.T. Resistant starch improvement of rice starches under a combination of acid and heat-moisture treatments. *Food Chem.* 2015, in press.
- 13) Alvarez, M.D., Canet, W., & Tortosa, M.E. "Kinetics of thermal softening of potato tissue (cv. Monalisa) by water heating." *Eur. Food Res. Technol.* 2001, 212, 588-596.

(平成28年9月30日受理)